蝶と蛾 *Trans. lepid. Soc. Japan* **60** (1): 81–91, January 2009

スジグロシロチョウとエゾスジグロシロチョウの種間関係
(I) 人工交雑の結果

北原　曜

396-0014　長野県伊那市狐島 4224-1

Interspecific relationship between *Pieris melete* and *P. napi* (Lepidoptera, Pieridae)
(I) Results of artificial hybridizing

Hikaru Kitahara

Kitsunejima 4224-1, Ina-shi, Nagano, 396-0014 Japan

Abstract In order to make clear the interspecific relationship between *Pieris melete* and *P. napi japonica*, artificial hybridizing was carried out by the hand pairing method and many F_1–F_3 hybrid adults were obtained. Reproductive ability of F_1–F_3 hybrids was tested by backcross experiment. The ratio of male and female of each F_1–F_3 hybrid was almost equal. Only male adults of F_1 and F_2 had sexual ability. The scent scale of the hybrid showed intermediate features of both parents. The ratio of maximum width of scent sack to maximum width of scent scale was useful for judgment of the interspecific hybrid.

Key words Interspecific hybrid, *Pieris melete*, *Pieris napi japonica*, backcross.

はじめに

スジグロシロチョウ *Pieris melete* (以下, スジグロ) とエゾスジグロシロチョウ *Pieris napi* (以下, エゾスジ. 白水 (2006) では, ヤマトスジグロシロチョウとエゾスジグロシロチョウに分類しているが, その根拠が明確ではないので, 黒田 (2008) の結果を踏まえ従来通りここでは一括してエゾスジグロシロチョウとする) は, 幼生期を含めた全ステージの形態のみならず生態的にも近縁な2種である. 基本的な食草は, スジグロが野生または栽培アブラナ科各属, エゾスジがハタザオ属中心である (福田ほか 1982) とされているが, 同一種の植物を食草にしていることも多く, 全国に広く同所的に分布していることが多い. また両種の発生期は第1化でごくわずかのズレが認められるもののほとんど同時期であり, 混飛していることが多い. このような両種および同属のモンシロチョウなどとの生態的あるいは生殖活動の比較は, 江島 (1987) に詳述されている.

一方, 混棲地ではこれまでどちらの種とも判別がむずかしい個体が採集されたり, ときに両種の種間雑種 (自然雑種) が見られる (福田ほか 1982) としている. しかし, 両種は個体変異, 地理的変異に加えて季節変異も激しく, 両種の判別自体が難しいため, 自然雑種とされる個体が真に自然雑種なのか断定することが難しい.

これまで両種の交雑実験としては, 唯一, 三枝ほか (1976) があり, 人工雑種 F_1 の♂は生殖能力があるものの F_1 ♀は生殖能力がなく, また戻し交配した F_2 は♂♀とも生殖能力がないと報告している. しかしこの報告では, 交雑の組み合わせと方法や幼虫の成育経過など詳細が不明であり, また得られた F_1 が図示されておらずその特徴が記述されていないなど不明な点が多い. さらに残念なことに, この報告以降, 確認のための追試の報告もない. このように, 両種の人工交雑の結果は依然として不明な事項が多く, 混棲地での自然雑種の存否や頻度は未解明なままである. また, 生態的にも近縁な両種がどのような種間関係にあるのか, 生殖的な隔離はどのようになっているのかなど, 日本中に分布する身近な種であるにも関わらず十分な解明がなされていない.

筆者は, これらの諸課題を解明する糸口として両種の交雑実験を行った. その結果, 種間雑種 F_1 およ

び戻し交配したF_2, F_3を得ることに成功し, 性比や両種との判別法および生殖能力についていくつかの重要な知見を得たので, このI報で報告する. なお, II報ではI報で得られた種間雑種の判別法を用いて, 野外における自然雑種の存否について報告し, あわせて両種の関係について考察する.

交雑実験の方法

交雑に用いた個体は, スジグロが長野県伊那市狐島の自宅庭において採集した♀から採卵飼育し累代した個体で, エゾスジが伊那市 (旧長谷村) 黒河内林道東谷で採集した♀より採卵飼育し累代した個体である. したがって, このエゾスジは*P. napi japonica*である.

なお, 産地の状況を記すと, 狐島についてはスジグロの単棲地, 東谷についてはスジグロとエゾスジの個体数割合がほぼ半々の混棲地である.

これら飼育羽化させた個体をスジグロ♂とエゾスジ♀, エゾスジ♂とスジグロ♀の組み合わせで, ハンドペアリング法により交配させた. なおハンドペアリングとは別に, 直径30 cm×長さ50 cmのケージにスジグロ3♂とエゾスジ2♀, もう一つの同様のケージにエゾスジ3♂×スジグロ2♀を入れ, ケージペアリングも試みたが交尾には至らなかった. ハンドペアリングによるスジグロ♂とエゾスジ♀の組み合わせについては, 1回目は夏型を対象に2007年10月に2組, 2回目は第1化春型を対象に2008年4月に2組, さらに3回目は第2化夏型を対象に2008年5月に3組, の計7組を交雑させた. 交雑に用いた両種♂は羽化後3日以上経過した個体, ♀は1日以上経過した個体を用いた. こうして得られたF_1♂♀をスジグロ, エゾスジを用いて戻し交配した. さらに, 得られたF_2♂♀についても同様に戻し交配した. これらの戻し交配は夏型を対象に2008年5–7月に行った. 交配方法は全てハンドペアリング法であり, 飼育方法などはF_1の場合と同様である. 一方, 上記とは逆の組み合わせであるエゾスジ♂とスジグロ♀については, 2008年5月に2組交雑させた. なお, スジグロ♂×エゾスジ♀, エゾスジ♂×スジグロ♂の両組み合わせ, あるいは戻し交配ともハンドペアリングによる交配は比較的容易であった.

採卵および飼育に用いた食草は, 全て播種しネットがけして成育させた葉ダイコンであるが, 両種とも母蝶はこれに支障なく産卵し, 幼虫の成長は極めて良好, 成虫は十分な大きさになった. 飼育は全て室内で行い, 2007年10月交雑のF_1幼虫については, 4齢以後に日長処理を行うことにより非休眠蛹と休眠蛹を作成した. その結果, 2007年12月には夏型, 2008年4月には春型を同一母蝶から得た.

なお同時並行して, スジグロ同士, エゾスジ同士をケージペアリングとハンドペアリングで交配し, 累代飼育を継続し戻し交配に供した.

実験結果と考察

人工雑種F_1

ハンドペアリングによるスジグロ♂とエゾスジ♀の3回の交雑実験計7組は, いずれも有精卵を多数産んだ. 1回目の交雑で得られた卵のうち産卵初期の100卵について孵化率を調べたところ, 93% (2頭の平均) であった. 2回目以降は詳細に調べなかったが, 同時並行飼育したスジグロやエゾスジと差はないようであった. 1回目交雑のF_1の室内での成育経過は, 最も成育の早い個体で, 10月22日産卵, 10月29日孵化, 1–3眠起は記録もれ, 11月10日4眠起, 同18日蛹化, 12月2日夏型4♂羽化であった. この経過は, 同時並行飼育のスジグロやエゾスジと差がなかった. その後夏型として年内に14♂5♀, 日長処理した越冬蛹から第1化春型として翌年3–4月に33♂23♀羽化した. 結局, 88頭の蛹のうち, 47♂ (うち18♂が羽化失敗), 28♀ (うち羽化失敗なし) が羽化した. 残り13頭は蛹のまま死亡した. 以上のように, ♂がやや多く, 性比がややアンバランスな傾向はあるが, 雑種にありがちな性比の極端な偏りは認められず♂♀とも羽化した. 幼虫期に死亡した個体は少なかった. 羽化に関して特徴的だったのは, ♂に羽化失敗が30%程度あったことである. この原因は, 脚部がひ弱なため蛹殻から脱出できなかったり, 羽化後に体を支えきれないで落下するためである. また口吻や触角も奇形となっている場合があった. 2, 3回目の交雑でも1回目同様30%程度のF_1♂がひ弱で羽化失敗した. F_1♀ではこのようなひ弱な個体は羽化しなかった. 以上のように, F_1は蛹のまま死亡したり, ♂の30%程度がひ弱で羽化失敗となる場合があるものの, 半数以上は外見上支障となるような奇形や低い活動力の個体は認められなかった. なお, 逆の組み合わせであるエゾスジ♂×スジグロ♀についても, スジグロ♂×エゾスジ♀のF_1と同様な成育経過であった.
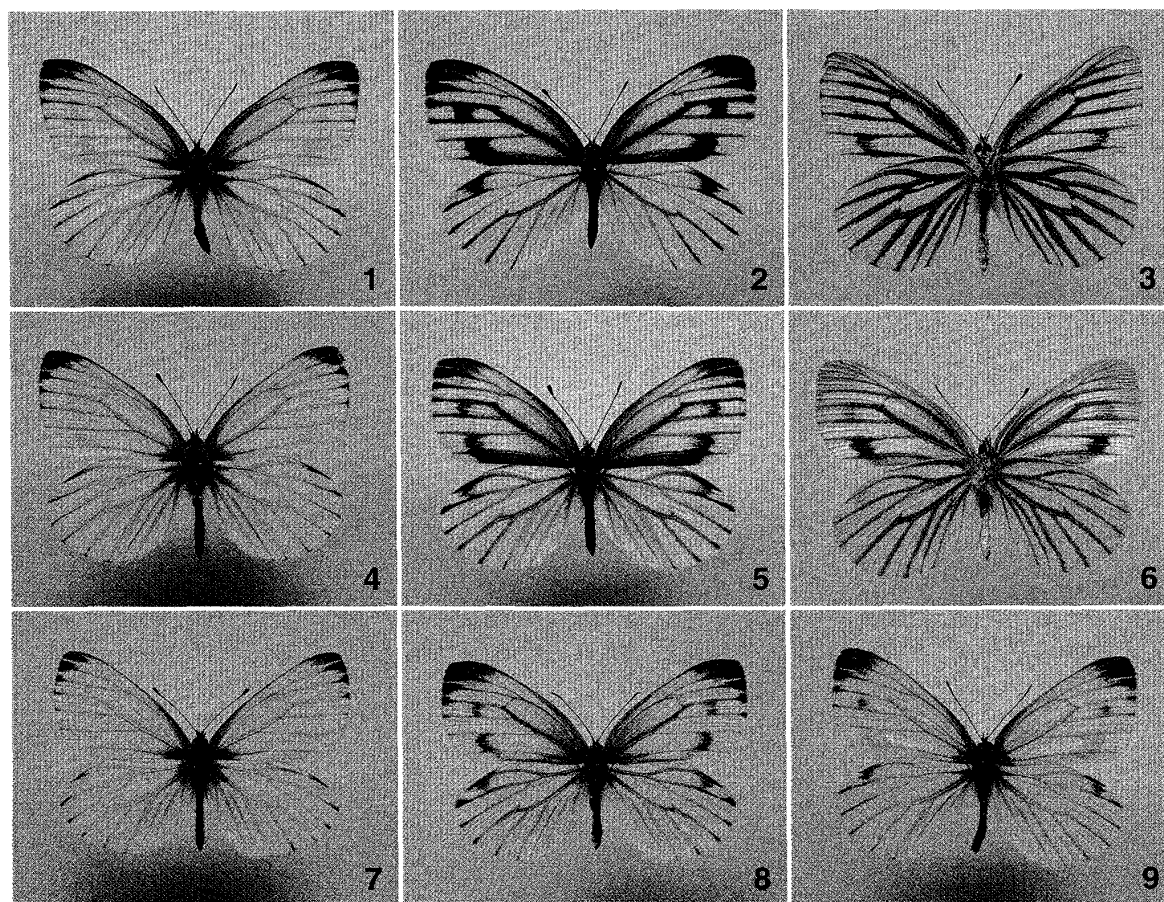
図1–9. 第1化春型におけるスジグロ, エゾスジ, (スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1の成虫の比較.
1. スジグロ♂. 2. スジグロ♀. 3. F_1♂裏. 4. F_1♂. 5. F_1♀. 6. F_1♀裏. 7. エゾスジ♂. 8. エゾスジ♀. 9. F_1♂.

Figs 1–9. Comparison of adults in the spring brood of *P. melete*, *P. napi japonica*, and F_1 hybrid between *P. melete*, ♂ and *P. napi*, ♀.
1. *P. melete*, ♂. 2. *P. melete*, ♀. 3. F_1 ♂, underside. 4. F_1 ♂. 5. F_1 ♀. 6. F_1 ♀, underside. 7. *P. napi*, ♂. 8. *P. napi*, ♀. 9. F_1 ♂.

図3–6, 9に, スジグロ♂×エゾスジ♀の第1化春型F_1成虫♂♀を, スジグロ♂♀ (図1–2) (伊那市狐島産の累代飼育), エゾスジ♂♀ (図7–8) (伊那市黒河内林道東谷産の累代飼育) と共に示す. F_1は代表的な個体を示す. なお, F_1の幼虫や蛹の形態について詳細な比較検討はしなかった. 図に示されたように, F_1♂成虫は両種の中間的な形態を示した. ただ, 得られたF_1成虫の全般的な印象は, ♂については第3室の黒斑や翅形などはエゾスジに似ている一方, 開長や翅脈沿いの黒すじなどはスジグロと似た傾向を示した. F_1♀成虫については開長が大きい点はスジグロ的な印象であるが, 斑紋は両種の中間的であった. しかし, もともとスジグロ, エゾスジの♀成虫は個体変異が激しいため判別が難しく, F_1♀を斑紋など形態で両種と明確に判別するのは難しいと考えられる.

次に, 図12–15にスジグロ♂×エゾスジ♀の第2化以降夏型F_1成虫♂♀を, スジグロ♂♀ (図10–11) , エゾスジ♂♀ (図16–17) と共に示す. 第1化と同様, F_1は代表的な個体を示す. スジグロ, エゾスジの産地など上記第1化と同じである. また, F_1♂成虫については, 以上とは逆の組み合わせであるエゾスジ♂×スジグロ♀についても図18 (逆F_1♂として) に示す. 図に示されたように, 第2化以降の夏型♂♀についても逆の組み合わせを含めて両種の中間的な斑紋を示していた. しかし, 翅形や斑紋の変異は激しく, スジグロと判断してしまうような個体からエゾスジと判断してしまうような個体まであった.

図3–6, 9, 12–15, 18のように, F_1は第1化, 2化以降とも両種の中間的な形態を示しており, もともと個体変異の激しい両種との判別が難しい. したがって, もし混棲地において自然雑種が採集されても, ス
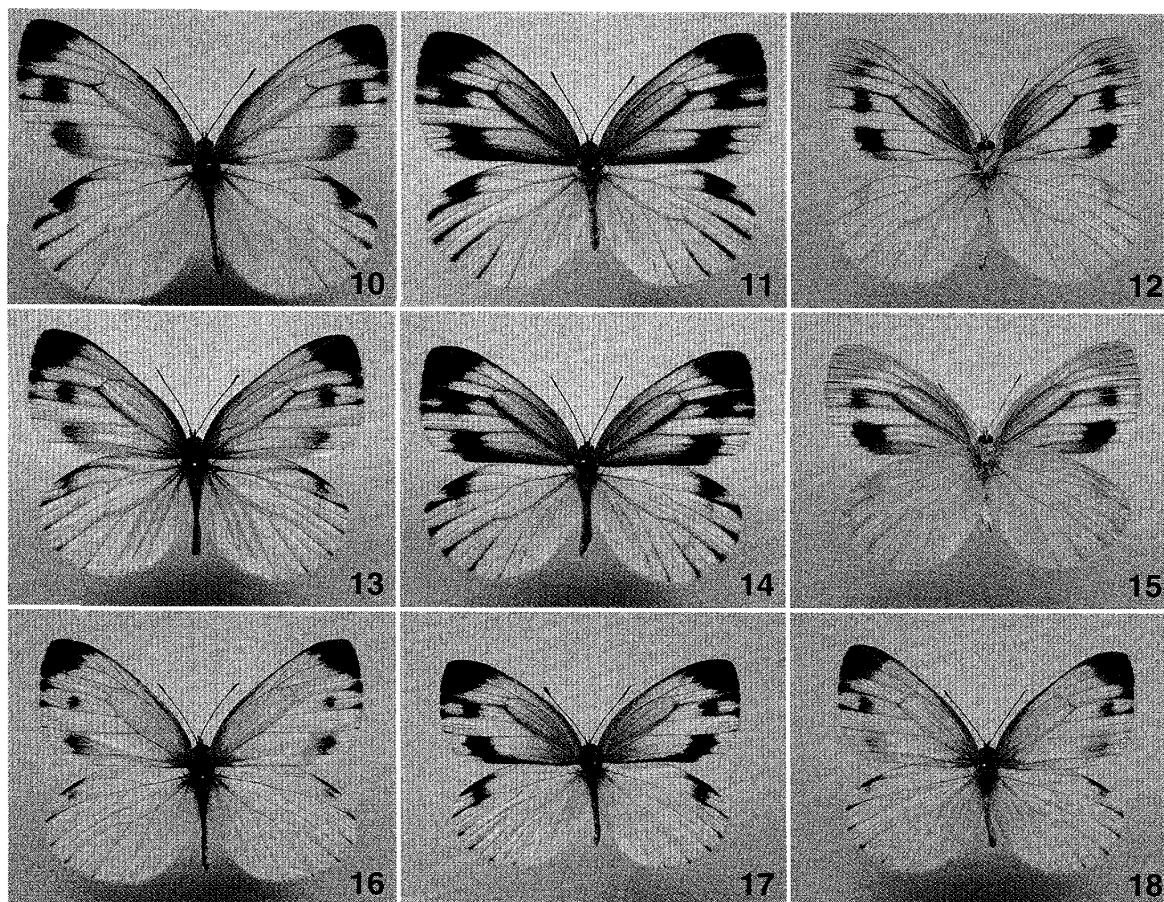
図 10–18. 第2化以降夏型におけるスジグロ, エゾスジ, (スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1 の成虫の比較.
10. スジグロ♂. 11. スジグロ♀. 12. F_1 ♂裏. 13. F_1 ♂. 14. F_1 ♀. 15. F_1 ♀裏. 16. エゾスジ♂. 17. エゾスジ♀. 18. 逆 F_1 ♂.

Figs 10–18. Comparison of adults in the spring brood of *P. melete*, *P. napi japonica*, and F_1 hybrid between *P. melete*, ♂ and *P. napi*, ♀.
10. *P. melete*, ♂. 11. *P. melete*, ♀. 12. F_1 ♂, underside. 13. F_1 ♂. 14. F_1 ♀. 15. F_1 ♀, underside. 16. *P. napi*, ♂. 17. *P. napi*, ♀. 18. F_1 ♂ between. *P. napi*, ♂ and *P. melete*, ♀.

ジグロかエゾスジのどちらかに分類されてしまっている場合も多いと思われる.

以上の結果をまとめると, スジグロとエゾスジは, ♂♀の組み合わせがどちらでもハンドペアリングによる交雑が可能で, 得られた F_1 幼生期は比較的順調で, 多くは正常な個体として羽化すること, また F_1 成虫♂♀は第1化春型, 第2化以降夏型とも両種の中間的な形態を示すこと, などがわかった.

人工雑種 F_2 と F_3

得られた F_1 の生殖能力を調べるため, ハンドペアリングによる戻し交配を以下のように行った. なお, 下記の F_1 の前に記した括弧は F_1 の両親の組み合わせを示している.

(スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1 ♂×スジグロ♀　3組
(スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1 ♂×エゾスジ♀　2組
(スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1 ♀×スジグロ♂　3組
(スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1 ♀×エゾスジ♂　1組

組み合わせは確実を期すため, 極力複数組行ったが, 産卵の有無や孵化率などは組内で変わらなかった. なお, 上記と逆の組み合わせである (エゾスジ♂×スジグロ♀) F_1 については戻し交配を行っていない. 図
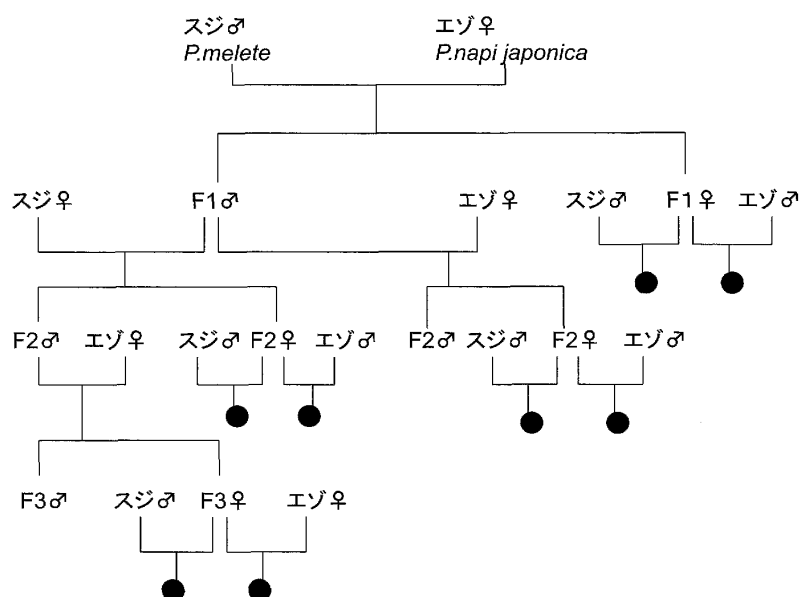
図19. 人工交雑の組み合わせとその結果.
黒丸は, 交配したが産卵しなかった組み合わせを示す.

Fig. 19. Combination of artificial hybridization and its result.
Black circle shows the combination in which egg laying was not obsereved in spite of successful artificial crossing.

19に, 交雑実験全体の組み合わせとその結果を一覧として示し, 以下に結果について述べる. まずF_1♀については, スジグロ♂, エゾスジ♂と戻し交配した後, 1週間以上採卵に供したがいずれも産卵しなかった. そこで, これらF_1♀腹部を解剖した結果, すべての個体で卵巣が未発達で卵が形成されていなかった. 一方, F_1♂と戻し交配した場合は, スジグロ♀との組み合わせでも, エゾスジ♀との組み合わせでもすべて受精卵を産み, その孵化率は正確に計測していないが90%以上で高く, また幼生期の成長も順調であった. 羽化したF_2成虫の性比は, (スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀が12♂7♀(うち3♀羽化失敗), (スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×エゾスジ♀が7♂6♀ (うち2♀羽化失敗) で, 羽化失敗が♀にやや多いものの性比に異常はなかった.

こうして得られたF_2についても, 以下のような組み合わせで戻し交配を行った.

((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀) F_2♂×スジグロ♀　未実施
((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀) F_2♂×エゾスジ♀　2組
((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀) F_2♀×スジグロ♂　1組
((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀) F_2♀×エゾスジ♂　1組

((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×エゾスジ♀) F_2♂×スジグロ♀　未実施
((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×エゾスジ♀) F_2♂×エゾスジ♀　未実施
((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×エゾスジ♀) F_2♀×スジグロ♂　2組
((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×エゾスジ♀) F_2♀×エゾスジ♂　2組

F_1の生殖能力実験と同様, 組み合わせは確実を期すためできるだけ2組ずつ行ったが, 複数組交配できなかった組み合わせもあった. 複数組行った場合は, 産卵の有無や孵化率は組内で変わらなかった. 結果は図19に示したが, F_2♀は, F_1♀の場合とまったく同じで, スジグロ♂, エゾスジ♂とそれぞれ戻し交配した後1週間以上採卵に供してもいずれも産卵しなかった. また, これらF_2♀腹部の解剖結果もF_1♀と同様, すべての個体で卵巣が未発達で卵が形成されていなかった. 一方, F_2♂はエゾスジ♀としか戻し交配に成功しなかったが, この原因は飼育時に病気が発生し, スジグロ♀の羽化のタイミングが合わなかったためである. このF_2♂をエゾスジ♀と戻し交配した場合は, 2組とも受精卵を産みその孵化率は正確に計測していないものの通常の孵化率と同じで高く, また幼生期の成長も順調であった. F_3の羽化数は7♂7♀で正常な性比であり, 1♂が奇形であったほかは正常な羽化であった. 三枝ほ
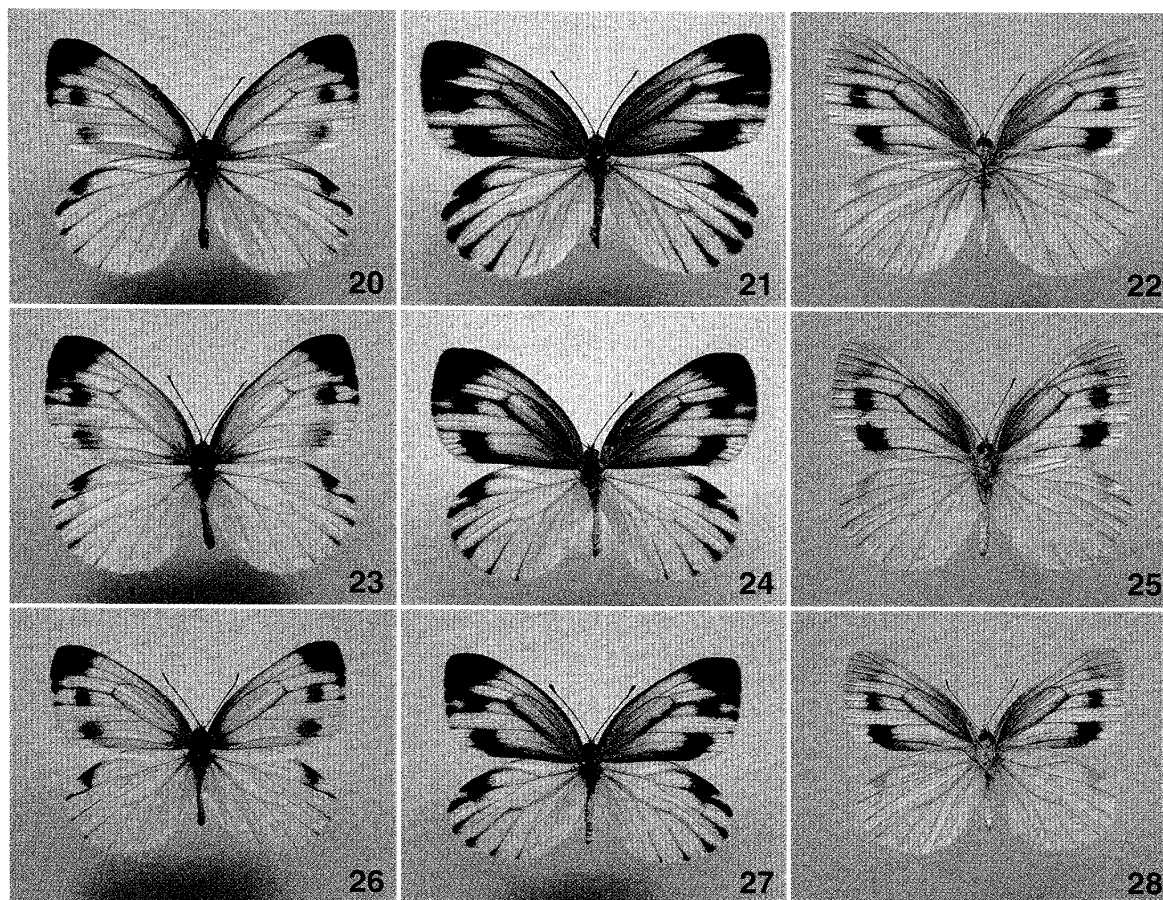
図20–28. 3/4スジF_2, 1/4スジF_2, およびF_3の成虫の比較.
20. 3/4スジF_2♂. 21. 3/4スジF_2♀. 22. 3/4スジF_2♂裏. 23. 1/4スジF_2♂. 24. 1/4スジF_2♀. 25. 1/4スジF_2♂裏. 26. F_3♂. 27. F_3♀. 28. F_3♂裏.

Figs 20–28. Comparison of adults of 3/4 melete F_2 hybrid, 1/4 *melete* F_2 hybrid, and F_3 hybrid.
20. 3/4 *melete* F_2♂, 21. 3/4 *melete* F_2. 22. 3/4 *melete* F_2♂,underside. 23. 1/4 *melete* F_2♂. 24. 1/4 *melete* F_2♀. 25. 1/4 *melete* F_2♂, underside. 26. F_3♂. 27. F_3♀. 28. F_3♂, underside.

か(1976)の交雑実験では, F_2♂に生殖能力がないとしているが, 今回の交雑実験ではF_2♂には明らかに生殖能力が認められF_3が発生した. これについては, スジグロ, エゾスジ, 人工雑種の同時並行飼育は羽化のタイミングを合わせることや, また両種は病気に弱いということもあり難しく, これらの支障によりF_2までとなってしまったことが考えられる. 今回の実験でも, F_2, F_3の羽化数が減少してしまったのは, 後述するように病気のためと考えられる.

F_3については, (((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀) F_2♂×エゾスジ♀) F_3♀についてのみ, 以下の2組を戻し交配できた.

(((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀) F_2♂×エゾスジ♀) F_3♀×スジグロ♂　　1組
(((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1♂×スジグロ♀) F_2♂×エゾスジ♀) F_3♀×エゾスジ♂　　1組

F_3♀については, 各1組の戻し交配しか行っていないが, F_1, F_2と同様, F_3♀は全く産卵せず, また卵巣の発達も未成熟であった. F_3♂については羽化個体が少なく戻し交配を実施できなかった. この原因は, F_2飼育を行っている6月ころから, 夏期の大量飼育のためか幼虫に病気が徐々に広がり, 十分な成虫数が得られなくなり, 羽化のタイミングが合わなくなってきたためである. この病気は, 幼虫あるいは蛹の段階で黒変し死亡してしまうもので, 戻し交配のために並行して飼育していたスジグロ, エゾスジにも発生し, F_3以降の飼育の続行が不可能となった. したがって, F_2, F_3での戻し交配実験が不十分となってしまったのは病気によるためであり, 交尾器が構造上合わないというものではない.
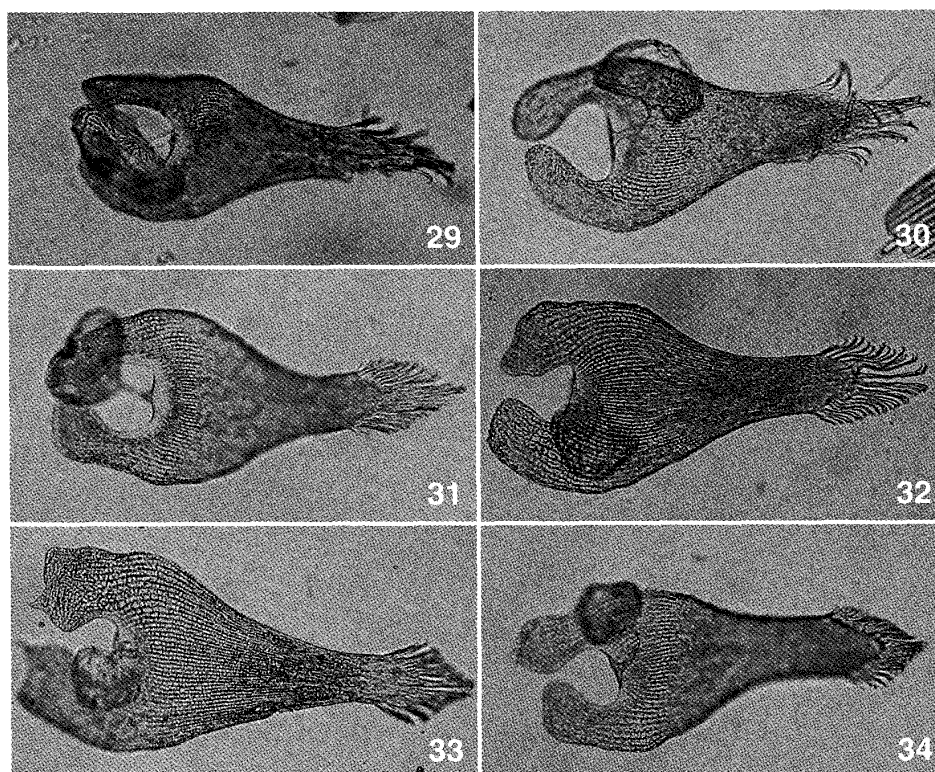
図29–34. スジグロ, エゾスジ, およびF_1, 3/4スジF_2, 1/4スジF_2, F_3の発香鱗.
29. スジグロ. 30. 3/4スジF_2. 31. F_1. 32. 1/4スジF_2. 33. エゾスジ. 34. F_3.
Figs 29–34. Scent scales of *P. melete*, *P. napi japonica*, and F_1–F_3 hybrids.
29. *P. melete*. 30. 3/4 *melete* F_2. 31. F_1. 32. 1/4 *melete* F_2. 33. *P. napi*. 34. F_3.

表1. スジグロ, エゾスジ, およびF_1, F_2, F_3の♂成虫の香嚢比.
Table 1. Ratio of maximum width of scent sack to maximum width of scent scale of male adults of *P. melete*, *P. napi japonica*, and F_1–F_3 hybrid.

	個体番号					平均
	1	2	3	4	5	
スジグロ (春型, 野外)	0.653	0.721	0.743	0.749	0.791	0.731
スジグロ (春型, 飼育)	0.743	0.745	0.756	0.796	0.833	0.775
スジグロ (夏型, 野外)	0.743	0.767	0.803	0.836	0.848	0.799
スジグロ (夏型, 飼育)	0.731	0.759	0.811	0.816	0.846	0.792
スジグロ (春型, 野外, 生)	0.728	0.730	0.747	0.753	0.763	0.744
エゾスジ (春型, 飼育)	0.343	—	—	—	—	0.343
エゾスジ (夏型, 飼育)	0.368	0.376	0.377	0.380	0.389	0.378
F_1 (春型)	0.451	0.476	0.487	0.488	0.556	0.492
F_1 (夏型)	0.481	0.530	0.547	0.553	0.587	0.540
3/4スジF_2 (夏型)	0.606	0.634	0.659	0.665	0.718	0.656
1/4スジF_2 (夏型)	0.394	0.424	0.469	0.472	0.477	0.447
3/8スジF_3 (夏型)	0.451	0.477	0.459	0.486	0.500	0.475

各個体について10個の香嚢比を平均した値.

以上, スジグロ♂×エゾスジ♀の組み合わせでは, F_1, F_2とも, すべて♂は生殖能力がある一方, F_1, F_2, F_3ともすべて♀は不妊で生殖能力がないことがわかった. 逆の組み合わせのエゾスジ♂×スジグロ♀については不明であるが, スジグロ♂×エゾスジ♀の組み合わせと同様なことが推察され, おそらく両種の雑種はF_3以降も, ♂は生殖能力を持ち♀は持たないもの推察される.
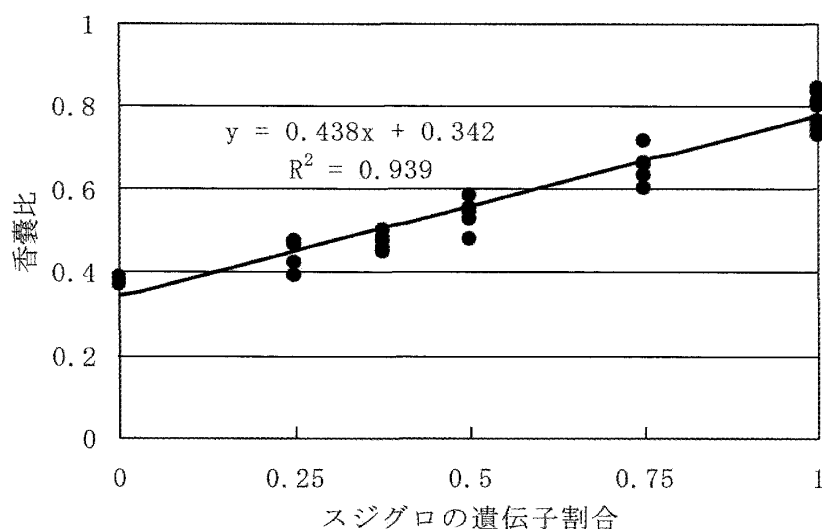
図35. 人工雑種の遺伝子の中に占めるスジグロの遺伝子割合と香嚢比の関係 (夏型).

Fig. 35. Relationship between the ratio of gene of *P. melete* present in the full genome of artificial hybrid and the ratio of maximum width of scent sack to maximum width of scent scale (summer brood).
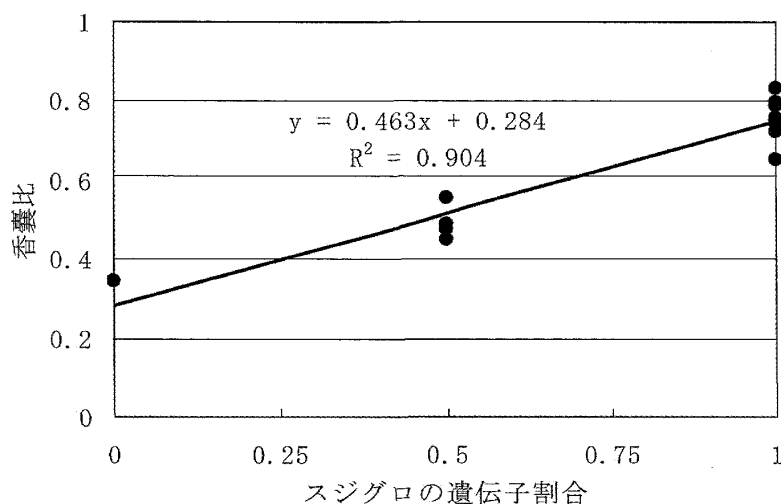
図36 人工雑種の遺伝子の中に占めるスジグロの遺伝子割合と香嚢比の関係 (春型).

Fig. 36. Relationship between the ratio of gene of *P. melete* present in the full genome of artificial hybrid and the ratio of maximum width of scent sack to maximum width of scent scale (spring brood).

すなわち, スジグロとエゾスジは♂を通じて, それぞれの遺伝子を伝達することが可能と考えられる. これは生物種としては非常に珍しいケースと考えられ, 人工交雑を行った結果では, 生殖的には両種は種分化未遂の半種段階にあると考えられる.

図20–28に, F_2, F_3成虫♂♀を示す. 人工雑種の遺伝子に占めるスジグロの遺伝子の割合は, 図の上段の((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1 ♂×スジグロ♀) F_2 (図20–22) が3/4 (このF_2を3/4スジF_2と呼ぶことにする), 中段の ((スジグロ♂×エゾスジ♀) F_1 ♂×エゾスジ♀) F_2 (図23–25) が1/4 (このF_2を1/4スジF_2と呼ぶことにする) となる. また下段のF_3 (図26–28) は3/8スジF_3となる. なお, F_1は1/2スジである. これらの遺伝子の割合をもとに, F_2, F_3の斑紋を見ると, 3/4スジF_2は♂♀とも翅形や翅脈上の黒すじが目立ちスジ

グロ的である一方, 1/4 スジ F_2 は♂♀とも, 逆に翅形が丸く黒すじが目立たずエゾスジ的である. また 3/8 スジ F_3 では, 1/2 スジの F_1 と似た翅形と斑紋になっている. ただし, 図示した個体は代表的な個体であり, 得られた多数の個体の中には変異もあるため, F_2, F_3 は, F_1 と同様, 両種と明確な判別ができない場合がある.

もし, 人工交雑で作成されたような F_1, F_2, F_3 が野外の混棲地で発生しているとすれば, 少なくともスジグロの遺伝子が 1/8–7/8 の雑種が存在し, もともと激しい両種の個体変異と重なって, 斑紋による判別は非常に難しいものと考えられる.

人工雑種の発香鱗

スジグロとエゾスジの確実な判別方法は♂発香鱗であり, スジグロは発香鱗全体が細長い一方, 香嚢が大きく, 逆にエゾスジは発香鱗全体が幅広で大きく香嚢が小さいことが知られている. 西海 (2000*a*) は, スジグロとエゾスジの香嚢の大きさで明確に両種が判別できるとしたが, 香嚢の大きさを数値で出すより, 発香鱗の幅の広狭にも注目して, ここでは発香鱗の最大幅に対する香嚢の最大幅の比 (以下, 香嚢比) を求めた. 香嚢の大きさではなく相対的な香嚢比を求めた理由は, 両種の発香鱗の違いをより明確に出せることと, 顕微鏡測定の誤差を防ぐためである.

プレパラートは, 1 個体ずつ綿棒で右前翅中室内を軽くこすり鱗粉類 (普通鱗と発香鱗の総称とする) を付着させ, それをスライドグラス上に軽くたたいて落として作成した. なお, 蝶の鱗粉類は撥水性がある一方, プレパラート作成用の液では浸潤してしまうため, 顕微鏡で観察し難い. そのため, 鱗粉類を載せたスライドグラスにカバーグラスを置いた後, 四隅だけをプレパラート作成液で固定する方法をとった. 作成したプレパラートは 400 倍で検鏡し, 接眼マイクロメータを用いて測定した. 測定は, スジグロ (いずれも狐島産. 季節型, 野外採集か飼育などに分けて), エゾスジ (いずれも東谷産), 人工雑種について各 5 個体を対象に, 1 個体あたり 10 個の香嚢比を求め平均した. なお, 棚橋ほか (2008) が報告したような発香鱗の異常型は, 人工雑種も含めて全く認められなかった.

図 29–34 にスジグロ, エゾスジ, および F_1, F_2, F_3 について発香鱗の顕微鏡写真を示す. 図示したように, スジグロ, エゾスジの差は明確であり, また F_1 は発香鱗および香嚢の大きさが両種の中間的である. F_2, F_3 もスジグロの遺伝子の割合に応じた形をしている. 表 1 に, スジグロ, エゾスジおよび上記 F_1, F_2, F_3 の香嚢比について示す.

まず, スジグロの香嚢比は, 春型が夏型よりやや小さい傾向があり季節型で分ける必要があるが, 野外採集と飼育では差がない. また, 生きた♂の発香鱗を採集後すぐ検鏡して求めた香嚢比も乾燥標本のそれとほとんど同じである. すなわち, スジグロの香嚢比は季節型や個体変異はあるものの, 値の範囲は 0.65–0.85 であった. 一方, エゾスジは単棲地がないので確実な累代飼育の個体しか対象とせず, また, 春型エゾスジ♂の羽化数が少なく交雑実験に多くの個体を使用してしまったため 1 頭分のデータしかないためデータ数が少ないが, やはり香嚢比は, 春型が夏型よりやや小さい傾向が認められた. しかし, その値は 0.34–0.39 の範囲で, スジグロの約半分の値で重複することはなかった. したがって, 香嚢比は季節型に分ける必要はあるものの, 両種間で重なりはなく数値で明確に判定できる.

次に F_1 の香嚢比についてであるが, やはり春型がやや小さいものの範囲は 0.45–0.59 で, 両種の中間的な値をとり, また両種の香嚢比とは全く重ならない. したがって, 3 者は香嚢比で明確に判別が可能である. これらの結果から, 香嚢比による両種および F_1 の判別はかなり有効と考えられ, 両種の中間的な判別の難しい個体について, ♂については顕微鏡で確実に F_1 かどうか判別可能である. ただし, ♀成虫については, 西海 (2000*b*) が提案した鱗粉の形の違いによる方法で判別することは難しかった.

次に F_2 については, 3/4 スジ F_2 が 0.60–0.72, 1/4 スジ F_2 が 0.39–0.48 で, 一部重なりはあるものの両種および F_1 の香嚢比の中間的な値となった. したがって, F_2 もまた香嚢比を用いればある程度判別は可能である.

一方, 3/8 スジ F_3 については, 表に示されたように 0.45–0.50 であり, 両親である 3/4 スジ F_2 とエゾスジの中間的な値であった. ただし, この F_3 の香嚢比は, 両種と F_1 や F_2 とは重複することが多く, 香嚢比で判別することは難しい.

以上について, ある個体の全遺伝子に占めるスジグロの遺伝子の割合 (エゾスジが 0 で, スジグロが 1) を説明変数 (x), 香嚢比を目的変数 (y) として図に示したものが, 図 35 (夏型), 図 36 (春型) である. 計算

に用いた個体は, 表1の全乾燥標本個体であり, スジグロ (夏型, 野外, 生体) は除いた. ここではまず, F_2, F_3まで得られデータ数が多い夏型から検討する. 図35のように香嚢比は, 雑種の全遺伝子に占めるスジグロの遺伝子割合と非常によい相関で直線関係を示し, 以下の回帰式が得られた.

y=0.438x+0.342　　　　　(R^2=0.939)

逆に言えば, 香嚢比を調べることによりスジグロの遺伝子割合を, 以下の式で算出できることになる. すなわち,

x=2.29y–0.781························ (1)

ただし, xは遺伝子割合なので$0 \leq x \leq 1$であり, 右辺が0以下の時はx=0 (すなわち, エゾスジ), 右辺が1以上の時はx=1 (すなわち, スジグロ) となる. なお, 1–xがエゾスジの遺伝子割合となる.

一方の春型については, エゾスジ春型の被検個体数が少ないことと, 人工雑種がF_1までしか得られていないために信頼性が少ないが, 以下のように夏型同様の回帰式が得られた.

y=0.463x+0.284　　　　　(R^2=0.904)

また夏型と同様に

x=2.16y–0.612 ························ (2)

上式から, 雑種の遺伝子割合が推定でき, また雑種の代数もある程度推定可能である. すなわち, 野外の自然雑種の判定は, 10個程度の発香鱗から香嚢比を求め, 季節型別に上式に代入することで可能である. また, xが0.5程度ならばF_1, 0.25程度や0.75程度ならばF_2などと雑種の代数がある程度推定できる.

以上のように, ♂に関しては400倍の顕微鏡で発香鱗を調べることにより雑種を判断できることがわかった. 今回, 強制的ではあるがハンドペアリングで交雑が可能で雑種が簡単に形成されること, 香嚢比を用いて雑種かどうか判定できることがわかったので, 今後は混棲地における自然雑種の有無や個体数割合などを調査する必要がある. これについては次報で報告する.

F_3以降の♂の生殖能力は今回確認していないが, F_3以降も♂に生殖能力があり♀に生殖能力がない可能性があり, スジグロとエゾスジは遺伝子を♂により伝達できる半種状態で連続的な個体群となりうる. しかし, 一方で発香による識別や交尾前行動などにより生態的隔離が確実に起きているとすると, 人工的には雑種形成が可能ではあるものの両種は明確な別種となる. いずれにしても, どの程度生態的な隔離が起きているのか, あるいはどの程度間違って交雑してしまうのかを解明するためには, 混棲地の自然雑種の個体数比率から推定が可能である. なお, ♀については明確な判別点がないが, 混棲地において精包を持った♀を採集し採卵することにより, ある程度の推定は可能である. すなわち, その♀が産卵せず腹部に卵が形成されていなければ雑種の可能性が高いと判断され, また受精卵を産卵した場合でも, その受精卵から成虫を羽化させケージペアリングなどで交尾させ, ♀が受精卵を産まなければ, 野外採集した♀は雑種♂と交尾した可能性が高いと判断される. 逆に言えば, 両種の純系は2世代の累代飼育により確認できる.

おわりに

スジグロとエゾスジの人工雑種F_1を作成し, そのF_1を戻し交配してF_2を作成し, さらにF_2の戻し交配でF3を作成した. F_1, F_2, F_3の幼生期の成育は, 孵化率も高く幼虫や蛹での途中死亡も少ないなど比較的正常であった. F_1, F_2, F_3成虫は, ひ弱であったり羽化失敗する個体が混じるものの多くは正常な個体で, F_1♂とF_2♂は生殖能力がある一方, F_1♀, F_2♀, F_3♀のいずれも生殖能力がないことがわかった.

人工雑種成虫の斑紋は個体変異があるが, スジグロとエゾスジの遺伝子割合にしたがってスジグロの遺伝子割合が高いものはスジグロ的, 逆にエゾスジの遺伝子割合が高いものはエゾスジ的であった. 以上のことから, 人工雑種実験ではまだF_3以降の♂の生殖能力が確かめられていないが, F_3以降も生殖能力を有する可能性は高く, 両種は半種状態にあると考えられた. また, 発香鱗を測定することにより雑種の判定が可能であることが分かった.

雑種が人工的には簡単に形成できることから,第II報では香嚢比による混棲地における自然雑種の調査結果を報告する.この自然雑種の調査により,両種の生態的隔離がどの程度のものなのか,種間関係はどのようになっているのかなど,興味深い課題が解決されるものと考えられる.なお,人工交雑の実験は今回の報告だけでは不十分であり,F_3以降の交雑実験と生殖能力の有無,強制的ではないケージペアリングによる両種間の交雑や雑種の戻し交配の可能性など,積み残した課題は多数あり,これらも随時解明していく必要がある.

末尾ながら,北海道の黒田　哲氏とは,北海道産エゾスジについて交配結果など貴重な情報を交換させていただいた.ここに,深く感謝申し上げる.

文　献

江島正郎, 1987. モンシロチョウ. 172 pp. 文一総合出版, 東京.
福田晴夫ほか, 1983. 原色日本蝶類生態図鑑 (II). 325 pp. 保育社, 東京.
黒田　哲, 2008. 北海道産エゾスジグロシロチョウ *Pieris napi* の道南地域 (ヤマトスジグロシロチョウ) と道東地域 (エゾスジグロシロチョウ) の交配結果. やどりが (217), 5–10.
西海正彦, 2000*a*. エゾスジグロシロチョウとスジグロシロチョウの分別法の再評価 (前編)—雄個体について—. 蝶研フィールド **15** (8): 15–20.
————, 2000*b*. エゾスジグロシロチョウとスジグロシロチョウの分別法の再評価 (後編)—雌個体について—. 蝶研フィールド **15** (10): 20–22.
三枝豊平ほか, 1976. *Pieris* 属の種の問題に関する基礎的研究. 蝶と蛾 **27**: 175–176.
白水　隆, 2006. 日本産蝶類標準図鑑. 336 pp. 学習研究社, 東京.
棚橋一郎ほか, 2008. スジグロシロチョウの発香鱗の異常型について. やどりが (216): 24–25.

Summary

Interspecific hybrid adults between *Pieris melete* and *P. napi* were obtained in quantity by the hand pairing method and a backcross experiment for F_1–F_3 hybrids was carried out. It was observed that the morphology and growth progress of all stages of F_1–F_3 hybrids were normal, but about 30% of males failed to emerge from chrysalis. The ratio of male and female was almost equal. The morphology of F_1–F_3 hybrid adults showed intermediate feature between both parents. While every male of F_1–F_2 had sexual ability, not every female of F_1–F_3 did. The ratio of maximum width of scent sack to maximum width of scent scale was useful for judgment of interspecific hybrids beween both species.

(Accepted August 26, 2008)

Published by the Lepidopterological Society of Japan,
5-20, Motoyokoyama 2, Hachioji, Tokyo, 192-0063 Japan